

КИНЕТИКА МЕХАНИЗМОВ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ В Cr-Mn-Ni ТРИП СТАЛИ ПО ДАННЫМ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ

Мюллер А.^{а)}, Зигель К.^{а)}, Линдеров М.^{б)}, Вайднер А.^{а)}, Бирман Х.^{а)}

Руководитель к. ф-м. н. D.Eng Виноградов А.^{б)}

^{а)} Институт материаловедения, Технический университет г. Фрайберг, Германия

^{б)} Лаборатория физики прочности и интеллектуальных диагностических систем
Тольяттинский Государственный Университет, Тольятти, Россия

dartvi@gmail.com

Изучение кинетики пластической деформации в Cr-Mn-Ni ТРИП стали при одноосном растяжении, проводимом при различных температурах (комнатной и 333К), по данным кластерного анализа непрерывного потока сигналов акустической эмиссии.

ВВЕДЕНИЕ

Метастабильные стали с пластичностью, наведенной мартенситным превращением (ТРИП стали), в настоящее время, привлекают к себе большое внимание, так как обладают уникальным комплексом физико-механических свойств. В большинстве своем, он определяется кинетикой протекания мартенситного превращения ($\gamma \rightarrow \alpha'$, $\gamma \rightarrow \varepsilon$ или $\gamma \rightarrow \varepsilon \rightarrow \alpha'$) и другими деформационными эффектами, которые могут наблюдаться в данных сталях. В представленной работе, данный вопрос изучается в Cr-Mn-Ni сталях с метастабильным аустенитом, с использованием метода акустической эмиссии (АЭ) и процедур статистического и спектрального кластерного анализа.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для испытания использовали сталь, предложенную концептуально Вейсом и др. [1] с химическим составом, представленным в *таблице 1*. Одноосное растяжение проводилось на электромеханической машине Zwick 1476 со скоростью перемещения траверсы $1 \times 10^{-2} \text{ с}^{-1}$ при комнатной температуре и 333К. Вторая температура выбиралась таким образом, чтобы полностью подавить эффект Портевена – Ле-Шателье.

Таблица 1: Химический состав и точка M_s для исследуемой ТРИП стали

Сталь	Химический состав (%)							M_s (°C)
	C	Cr	Mn	Ni	Si	Al	N	
16Cr-6Mn-3Ni	0.05	16.0	6.4	3.2	0.8	0.06	0.06	60

Акустическая эмиссия записывалась без порога с использованием 18 битного АЦП с частотой дискретизации 2 МГц. Усиление сигнала составило 60 дБ в полосе частот 30-1000 кГц. Для идентификации отдельных процессов использовался модифицированный метод последовательных k-средних (Adaptive Sequential k-means) [2].

РЕЗУЛЬТАТЫ

В работе [3], было показано, что пластическая деформация в исследуемой стали в диапазоне используемых температур сопровождается мартенситным превращением, интенсивность которого снижается при её повышении. Для получения первичной информации обо всех участвующих процессах была построена зависимость АЭ энергии E и медианной частоты f_m от приложенной нагрузки, показанная на *рисунке 1а* для образца стали, испытанного при комнатной температуре. По ней можно представить только совокупную кинетику всех протекающих процессов. Например, можно заметить, что появление эффекта Портевена – Ле-Шателье сопровождается отдельными всплесками энергии АЭ сигналов (*рисунок 1б*).

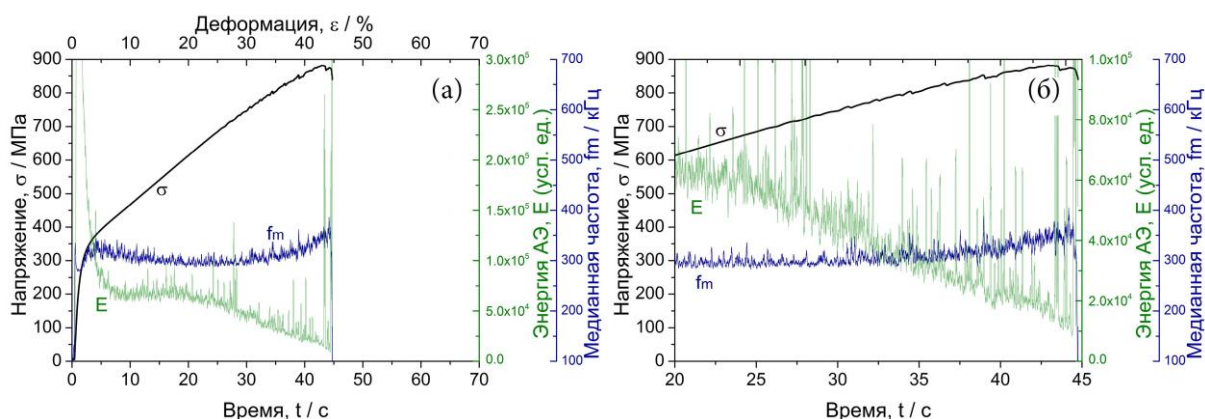


Рисунок 1. Диаграмма нагружения синхронизированная с энергией E и медианной частотой f_m АЭ сигналов как функция времени для Fe-Mn-Ni ТРИП стали, испытанной при комнатной температуре, со скоростью перемещения траверсы $1 \times 10^{-2} \text{ с}^{-1}$

Для выяснения кинетики ведущих процессов проводился кластерный анализ сигналов по форме функции спектральной плотности. Результаты его работы в числах совокупной АЭ энергии для каждого кластера, а также их распределение по энергии и медианной частоте показаны на *рисунке 2*.

Алгоритм выделил три кластера со статистически различающимися функциями спектральной плотности. Первый, начинающийся незамедлительно с приложением нагрузки, соответствует образованию дефектов упаковки, так называемого ε -мартенсита, для которого характерен максимум в области предела текучести, что отмечалось в работе [4]. Второй кластер соответствует образованию α' -мартенсита. В работе [5] было показано, что для данной стали кинетика накопления совокупной АЭ энергии, полученная с помощью данного кластерного анализа, хорошо коррелирует с количеством образовавшегося мартенсита, измеренного с помощью магнитных методов, во время прерывистого теста. Третий кластер, начинающийся значительно позже и проявляющий себя только в образце испытанном при комнатной температуре, и связан с эффектом Портевена – Ле-Шателье.

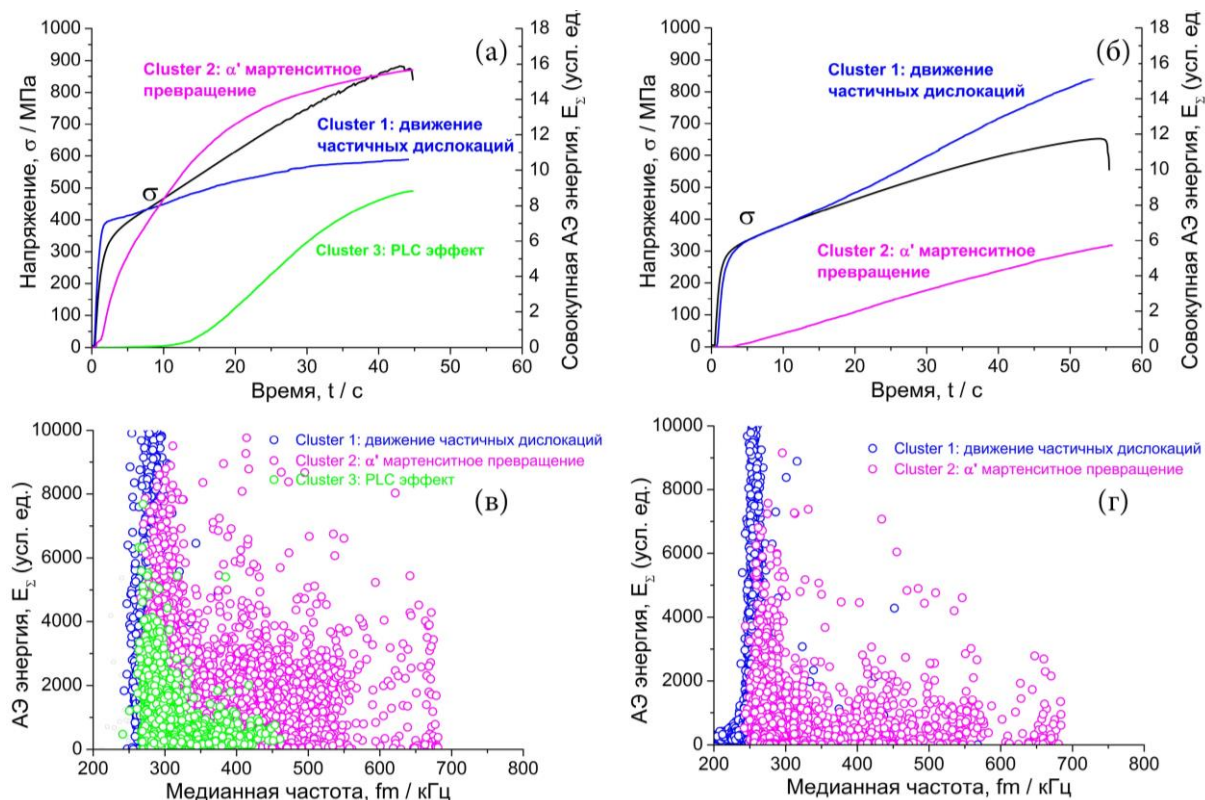


Рисунок 2. Результаты работы алгоритма кластерного анализа для ТРИП стали, испытанной при двух температурах: RT (а, в) и 333К (б, г), в числах совокупной АЭ энергии (а, б), и распределения по энергии и медианной частоте (в, г).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

(1) Кинетика процессов, протекающих при деформации в ТРИП стали может быть изучена с использованием кластерного анализа АЭ.

(2) Увеличение температуры испытаний до 333К полностью подавляет эффект Портевена–Ле-Шателье, что наглядно видно в результатах кластерного анализа АЭ.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ:

1. Weiß A, *et al.*: Nichtrostender austenitischer Stahlformguss, Verfahren zu dessen Herstellung, und seine Verwendung. WO 002008009722A1.
2. Pomponi E., Vinogradov A. A real-time approach to acoustic emission clustering // Mech. Syst. Signal Process. 2013. Vol. 40, № 2. p.791–804.
3. Biermann H, Solarek J, Weidner A.: SEM investigation of high-alloyed austenitic stainless cast steels with varying austenite stability at room temperature and 100°C, Steel Res. Int. Vol. 83, № 6, 2012, p. 512-520.
4. Jahn, A., Kovalev A., *et al.*: Temperature Depending Influence of the Martensite Formation on the Mechanical Properties of High-Alloyed Cr-Mn-Ni As-Cast Steels // Steel Res. Int. Vol. 82. №1, 2011, p. 39-44
5. Vinogradov A, *et al.*: Kinetics of deformation processes in high-alloyed cast TRIP/TWIP steels determined by AE and SEM, Acta Materiala, Vol. 61, No. 7, 2013, p. 2434-2449.